

ZÁRÓJELENTÉS

A kutatási projekt teljesítése a következő tematika szerint foglalható össze:

1. Új hálózatbarát frekvenciaváltó tervezése és üzembe helyezése,
2. Új hálózatbarát frekvenciaváltó tudományos jellegű és hallgatói méréseinek eredményei.
3. Régebbi gyártmányú hálózatbarát frekvenciaváltó üzembe helyezése és azon végzett mérési eredmények összefoglalása,
4. A frekvenciaváltók impulzus-szélesség modulációs eljárásainak elméleti és gyakorlati vizsgálata,
5. Az áramgenerátoros táplálású hálózatbarát frekvenciaváltók vizsgálata.

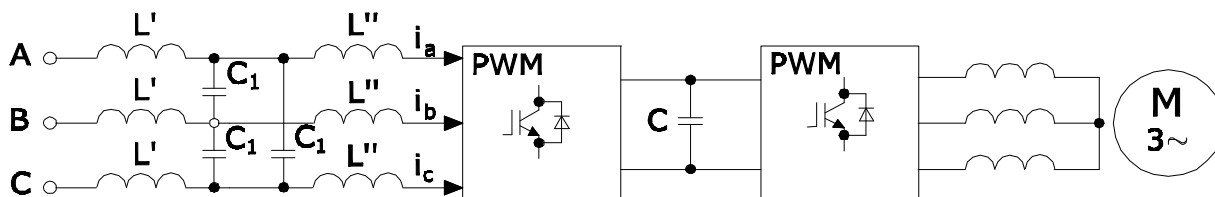
1. ÚJ HÁLÓZATBARÁT FREKVENCIAVÁLTÓ TERVEZÉSE ÉS ÜZEMBE HELYEZÉSE

Az utóbbi időkig a frekvenciaváltós hajtásokat általában diódás hálózati áramirányítóval gyártották. Ezzel a hajtásokat viszonylag kis méretben és elfogadható áron sikerült készíteni, ami hozzájárult az ilyen hajtások széles elterjedéséhez. Ezzel párhuzamosan mind jobban előtérbe kerültek e hajtások negatív tulajdonságai:

- a) A hajtások nem alkalmasak visszatáplálásos üzemre, így pl. a motor fékezési energiáját az egyenáramú köri ellenálláson kell elhasználni.
- b) A hálózati áram harmonikus torzítása, úgy nevezett THD értéke, nehezen csökkenthető 0.7 alá, tehát a harmonikusok, elsősorban az 5. és 7. rendszámúak, jelentős értékűek. A harmonikus áramok voltak felelősek a hálózati feszültség torzításáért.
- c) A szériában gyártott 400V-os, 50 Hz-es aszinkron motorok ilyen frekvenciaváltókkal a névleges pontban csak csökkentett fluxussal üzemelhetnek, ami megnöveli a motorok melegeledését.

A hálózati feszültség torzítására vonatkozó szabványok gyakorlatilag szinuszos áramot írnak elő, mivel az áram torzítása nem haladhatja meg az 5%-ot és a teljesítménytényezőnek jobbnak kell lennie 0,95-nél. Ezt azonban csak hálózatbarát áramirányítóval lehet elérni. Ebben az esetben a hálózati oldalon is egy motor oldalival azonos, az 1. ábra szerinti felépítésű, impulzus-szélesség modulációs (ISZM ill. angolul PWM) vezérlésű tranzisztoros invertert kell alkalmazni a diódás áramirányító helyett. Egy ilyen frekvenciaváltó felépítése az 1. ábrán látható. Foglalkozunk össze ennek a megoldásnak a főbb előnyeit:

- a) Egy komplett 4/4-es hajtás megvalósítása (fékezési energia visszatáplálással).
- b) Gyakorlatilag szinuszos hálózati áram kis (THD<5%-nál) áram torzítással.
- c) Meddőteljesítmény gyakorlatilag zérus értéke ($\cos\varphi > 0.95$).
- d) Nagyobb az egyenáramú köri feszültség, amivel a motor névleges fluxusa a névleges pontban is fenntartható.



1. ábra. A frkvenciaváltó felépítése.

A hajtás negatívuma a nagyobb ár és a nagyobb helyigény, ami miatt az új megoldás gyakorlati alkalmazása egyelőre vontatottan halad. Az új szabványok azonban ki fogják kényszeríteni a hálózatbarát megoldások alkalmazását.

A projekt keretében kidolgozott megoldás fejlesztése a PROCON cég támogatásával történt, a cég térítésmentesen biztosította erre a célra a tranzisztoros áramirányítókat. A végleges kialakítás a tanszéken történt. A kidolgozott megoldás lehetőséget ad a szabályozási paraméterek üzemközbeni változtatására, valamint különböző szabályozási és impulzusszélesség modulációs eljárások alkalmazására, ill. lehetőséget ad a hálózati inverter kiiktatására és a hálózati diódás áramirányító beiktatására.

Meg kell jegyezni, hogy a kifejlesztett és üzembe helyezett frekvenciaváltó volt az első ilyen berendezés a tanszéken (de az egész BME-n is).

Irányítási stratégiák.

A 3 fázisú IGBT hidas hálózati inverter csak abban az esetben képes szinuszosra szabályozni a hálózati áramot, ha az egyenáramú kör feszültség nagyobb a hálózati vonali feszültség csúcserékénél. A hálózati áram kapcsolási, néhány kHz-es frekvenciájú harmonikusait passzív L-C szűrő segítségével szűrjük ki (3. ábra).

A hálózatoldali áramirányító vezérlésével szemben két követelményünk van: egyrészt az egyenfeszültséget kell bizonyos korlátok közé szabályozni, másrészt be kell tartani a hálózati visszahatás korlátozására vonatkozó szabványokat. Mivel ezek a szabványok gyakorlatilag szinuszos – a teljes harmonikus torzítás (THD) $< 5\%$ – és közel fázisban lévő ($\cos\phi > 0.95$) hálózati áramot írnak elő, a maximális hatásfok elérésére egyetlen szabadságfokunk maradt, az egyenfeszültség nagyságának megválasztása. Mivel az egyenfeszültség csökkentésével a kapcsolási veszteségek csökkennek, ezért a lehető legnagyobb hatásfok eléréséhez az egyenfeszültséget a lehető legkisebb szinten kell tartani. Ehhez az egyenfeszültségnek pár százalékkal nagyobbnak kell lenni, mint a hálózati vonali feszültség csúcseréke. Ezzel biztosítjuk a szinuszos kivezérelhetőséget. A pár százalékos feszültségtartalék a félvezetőkön és a szűrőkön fellépő feszülteségések kompenzálására szolgál.

Az egyenfeszültséget egy PI szabályozó állítja be az alapjellel előírt szintre.

A wattos és meddő áramkomponensek alapjelei.

Az egyenfeszültség PI szabályozó kimenete adja a wattos áramkomponens (wattos teljesítmény) alapjelét.

A meddő komponens alapjele a legtöbb esetben nulla, ilyenkor a hálózati szinuszos áram fázisban van a hálózati feszültséggel. Ritkábban előfordulhat, hogy a meddő komponens nem nulla, ilyen eset például, ha a többi berendezés meddő teljesítményét akarjuk a frekvenciaváltó segítségével kompenzálni.

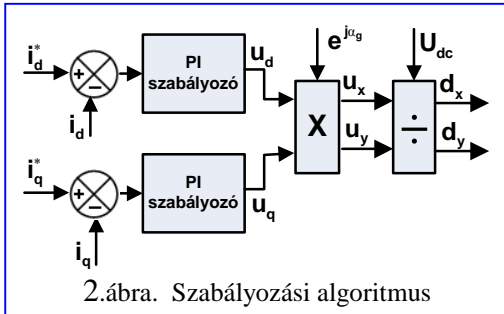
Áramszabályozási módszerek.

A frekvenciaváltót a hálózati feszültséghez orientált áram szabályozással láttuk el.

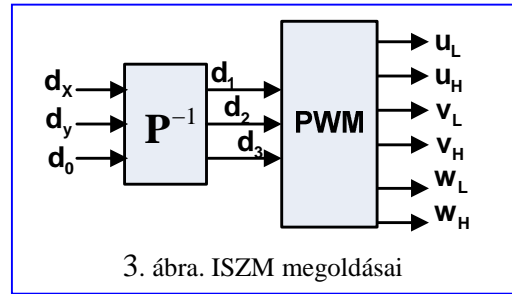
A szabályozás nagyon hasonlít a motoroknál alkalmazott mezőorientált szabályozáshoz, a különbség csak annyi, hogy itt az orientáció nem a forgórész fluxusához, hanem a hálózati feszültség vektorához történik. Ehhez képest a d irányú komponenssel szabályozzuk a wattos áramot, míg az erre merőleges q irányú komponenssel a meddő áramot. Ha nem lép fel zérus sorrendű összetevő, akkor elegendő két fázisáramot érzékelni, a harmadikat Kirchhoff csomóponti törvénye alapján számíthatjuk. A fázisáramokból előbb meghatározzuk az x, y összetevőit álló koordináta rendszerben, majd azokat a hálózati feszültség vektorához rögzített $d-q$ koordináta-rendszerbe transzformáljuk, mivel a szabályozás itt történik

Az áramösszetevők szabályozása

A szabályozás komponensenként egy-egy PI szabályozóval történik (4. ábra). A kimeneteket a maximálisan kiadható szinuszos feszültséghez tartozó értékek figyelembevételével korlátozzuk, nehogy túlvezérlődjön az impulzusszélesség modulációs (PWM) egység. Speciális tranziensek esetén lehetőségünk van túlvezérlés alkalmazására. A szabályozók kimenete adja a feszültség d és q irányú összetevőit. Mivel a beavatkozás álló koordináta-rendszerben történik, a kapott feszültségeket x - y álló koordináta-rendszerbe kell vissza transzformálni. Az így kapott u_x , u_y összetevőket az egyenfeszültséggel elosztva megkapjuk az egyes fázisokhoz tartozó kitöltési tényezőket, amiket a PWM egység dolgoz fel.



2. ábra. Szabályozási algoritmus



3. ábra. ISZM megoldásai

A fázisonkénti beavatkozáshoz szükséges jelek előállításához az x és y komponenseket inverz Park-transzformáció segítségével háromfázisú koordináta-rendszerbe transzformáljuk (lásd 3. ábra).

Ezekből a jelekből a PWM egység előállítja az egyes IGBT-k vezérléséhez szükséges jeleket. A 3. ábrán egy háromfázisú inverter vezérléséhez szükséges 6db vezérlőjel látható. A transzformáció elvégzéséhez szükségünk van a zérus sorrendű összetevőre is, amely az alkalmazott modulációtól függ.

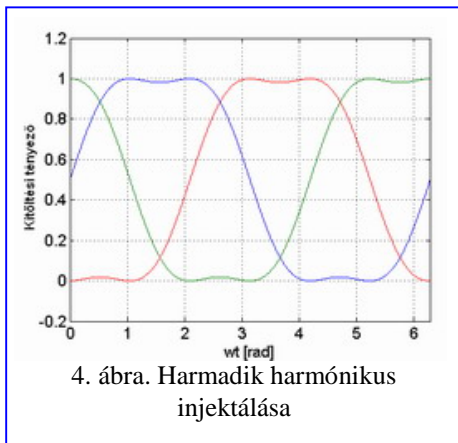
Alkalmazott modulációs eljárások.

A korszerű inverterek vezérlését leginkább háromféle modulációval valósítják meg, amelyeket a kifejlesztett frekvenciaváltóba is beépítettük.

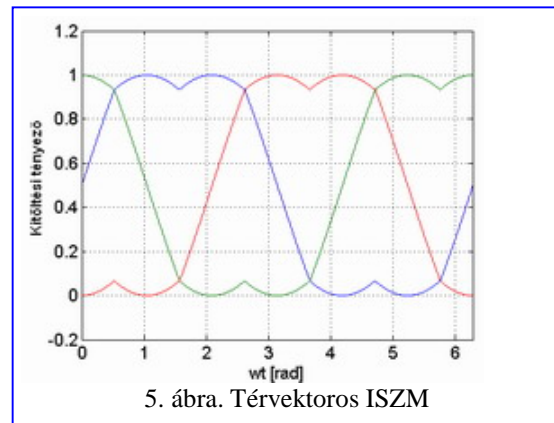
Harmadik harmonikus injektálás.

Ennek a modulációnak a célja a kivezérelhetőség megnövelése az egyes fázisokban. Ehhez egy $1/6$ amplitúdójú, háromszoros frekvenciájú jelet hozzáadunk az egyes fázisok szinuszos alapjéhez úgy, hogy az eredő alapjel maximális értéke lecsökkenjen.

A 4. ábrán láthatóak az egyes fázisokra kapott kitöltési tényezők. A moduláció alkalmazásával nulla sorrendű harmadik harmonikus feszültség iktatódik a rendszerbe, amely azonban áramot nem hoz létre, mivel a motor csillag pontja nincs kivezetve



4. ábra. Harmadik harmonikus injektálása



5. ábra. Térvektoros ISZM

Térvektoros vivőfrekvenciás moduláció.

Térvektoros moduláció esetén az a célunk, hogy fázisonként minél távolabb maradjunk a maximális kivezérléstől. Az 5. ábrán láthatóak az egyes fázisokhoz tartozó kitöltési tényezők.

Az ötlet a következő: egy zérus sorrendű komponenssel toljuk el az egyes jeleket úgy, hogy minden pillanatban a legnagyobb kitöltési tényező egytől való távolsága egyezzen meg a legkisebb kitöltési tényező nullától való távolságával. Ismert, hogy ebben az esetben a szinuszos alapjelekhez hozzá kell adni a maximális és a minimális alapjel felét.

Kétfázisú moduláció.

Ebben az esetben a cél a kapcsolóelemek kapcsolási veszteségének csökkentése.

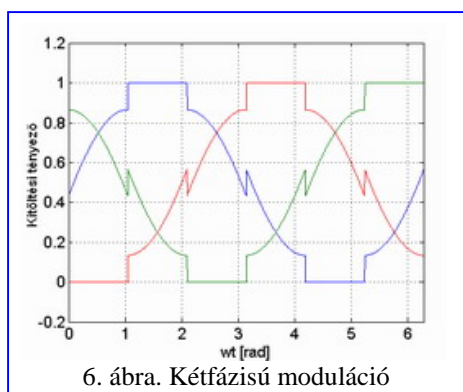
Mivel a kapcsolási veszteség közel arányos a félvezetőkön levő feszültséggel és a rajtuk átfolyó árammal, valamint a kapcsolt feszültség mindig egyenfeszültség, megfelelő megoldásnak kínálkozik, hogy akkor ne kapcsolgassunk, amikor a félvezető áramának abszolút értéke maximális.

A megoldás a következő: a hálózati periódust 60° -os szakaszokra osztjuk és abban a 60° -os szakaszban nem kapcsolgatunk, ahol az áram maximális (6.ábra). Tekintve, hogy a teljesítménytényező a szabványban előírt minimális 0.95 felett van, ez jó közelítéssel megegyezik azzal a 60 fokos tartománnyal, ahol az adott fázisfeszültség abszolút értéke maximális. A zérus sorrendű összetevő alakja a kitöltési tényező függvénye. E moduláció alkalmazásával a kapcsolási veszteség közel felére csökken változatlan modulációs frekvencia esetén, ha feltételezzük, hogy a kapcsolási veszteség az árammal arányos.

Megjegyezzük, hogy a térvektoros moduláció kisebb áram torzítást ad kisebb váltakozó áramú feszültség esetén, míg a zérus összetevők hozzáadásán alapuló moduláció esetén kisebb torzítást kapunk nagyobb feszültség esetén.

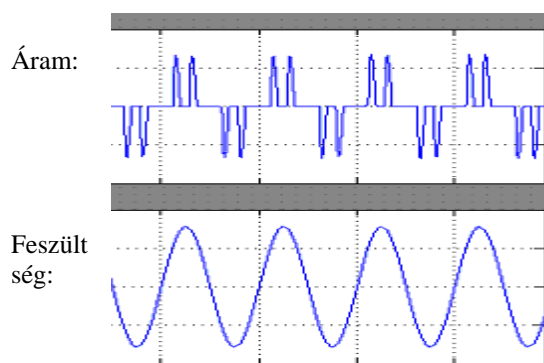
Valamennyi említett moduláció esetén nagyobb feszültség is kiadható, mint ami a szinuszos kivezérlhetőség határához tartozik, de ebben ez esetben nagy lesz a feszültség felharmonikus tartalma.

2 UJ HÁLÓZATBARÁT FREKVENCIAVÁLTÓ TUDOMÁNYOS JELLEGŰ ÉS HALLGATÓI MÉRÉSEK EREDMÉNYEI

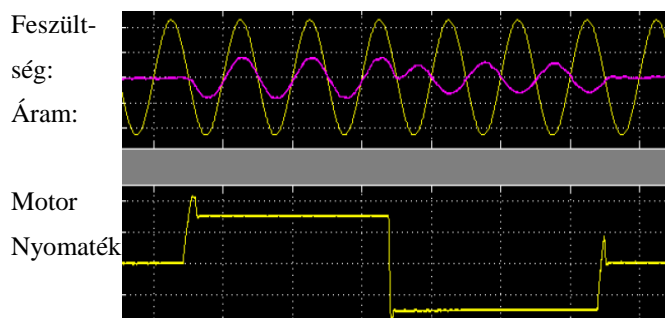


6. ábra. Kétfázisú moduláció

Először elkészült a teljes rendszer szimulációs programja. Ennek segítségével készültek el a hálózatbarát és a diódás áramirányítós rendszer tudományos, valamint hallgatói szimulációs vizsgálatai. Ennek keretében vizsgáltuk a rendszer viselkedését különböző állandósult és átmeneti üzemmódban, ill. megvizsgáltuk a szabályozók paraméter változásának hatását a rendszer minőségi jellemzőire. Később a szimulációs eredményeket összevetettük a mérési eredményekkel. Itt említjük meg, hogy a motor oldali inverterrel a rotor mezőorientált szabályozását valósítottuk meg.



7. ábra. Hálózati áram, diódás áramirányító



8. ábra. Hálózati áram, hálózathatár áramirányító

A 7 és 8. ábrán a szimulációval nyert hálózati áram időbeli lefolyása látható diódás hálózati, valamint hálózathatár áramirányító esetén. A 7 ábrából látszik, hogy a hálózati áram szaggatott és jelentősen torzított ($THD > 0.9$). A 8 ábrán a hálózathatár rendszer viselkedését ábrázoltuk a terhelő nyomaték ugrásszerű megjelenésekor, polaritásának váltásakor és megszűnésekor. A motor ennek megfelelően először motoros üzembe kerül, majd generátorosba. Látható, hogy a hálózati áram szinuszos alakú és motoros üzemben fázisban, generátoros üzemben ellenfázisban van a hálózati szinuszos feszültséggel. A 9. ábrán a mért hálózati feszültség és áram látható. A berendezés szimulációs és mérési eredményei 5 diplomatervben találhatóak. Tudományos vizsgálatra a berendezést folyamatosan használjuk (egy PhD hallgató is)).

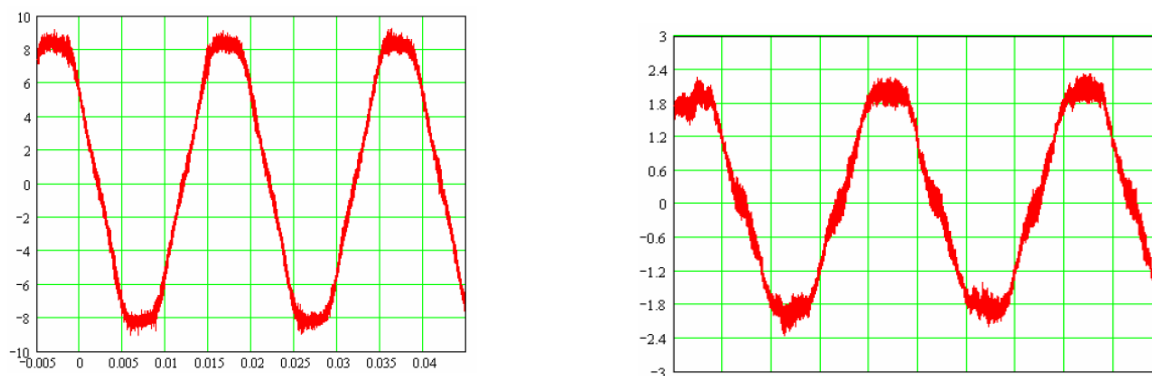
3. RÉGEBBI GYÁRTMÁNYÚ HÁLÓZATHATÁR FREKVENCIAVÁLTÓ ÜZEMBE HELYEZÉSE ÉS AZON VÉGZETT MÉRÉSI EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA,

Üzembe helyeztük a CEGELEC gyártmányú Alspa Gd 4010 típusú hálózathatár hajtásvezérlő berendezést is. A berendezés régebben került a tanszékre.

A berendezés két teljesen egyforma (Bridge A és Bridge B) háromfázisú, IGBT-s inverterből áll és egy közös egyenfeszültségű sínre kapcsolódik. Az inverterek, programból kiválaszthatóan többcélúan használhatók.

- *DC IN AC OUT üzemmódban* az energiaellátás az egyenfeszültségű sínről lehetséges, és a két inverterrel két aszinkronmotor mezőorientált szabályozású üzeme valósítható meg.
- *AC IN AC OUT üzemmódban* az egyik inverter (Bridge B) a hálózathatárral, a másik inverter (Bridge A) a motoroldali szabályozó-beavatkozó szerepet látja el. A laboratóriumunkban ezt az üzemmódot állítottuk be.

Az *AC IN AC OUT üzemmódban* a háromfázisú hálózati feszültségre csatlakozó „Bridge B”



9. ábra. Hálózati feszültség és áram, aszinkron motoros üzem.

inverter szabályozott egyenfeszültséget állít elő a „Bridge A” inverterről táplált aszinkron motoros szervohajtás számára. A hajtás különlegessége, hogy alárendelt áramszabályozással a „Bridge B” inverterrel olyan hálózatkímélő üzem valósítható meg, amely a hálózatoldali fázisáramok nagyságát, alakját és fázisszögét is képes szabályozni.

A motoroldali (Bridge A) inverterrel mezőorientált áramvektor szabályozású aszinkronmotoros villamos hajtásszabályozás programozható be. A motorra kiadható maximális alapharmonikus frekvencia 400Hz. A gyári program szenzoros” mezőorientált szabályozást javasol, amelyhez szükség van a motor tengelyére szerelt inkrementális szögadó jelére.

A hajtás vezérlése mikroprocesszoros, kezelése számítógépes irányítással valósítható meg. A berendezés RS422 soros vonalon keresztül számítógépről programozható. A berendezés „lelke” a SIGMA jelű mikroprocesszoros irányítóegység. Ez látja el a hajtás működéséhez szükséges számítási, szabályozási, vezérlési és védelmi feladatokat, továbbá képes „fekete doboz funkció” ellátására is. A SIGMA mikroprocesszoros irányítóegység működtető programja (gépi kódú object program) a berendezés levő EEPROM-ba tölthető be. A működés ellenőrzésére monitorozó program és hibajelzést listázó áll rendelkezésre.

Az üzembe helyezés fő lépései a következők voltak:

- az interfész kapcsolat megteremtése a berendezés és a számítógép között,
- a motor tengelyére szerelt inkrementális szögadó bekötése és programozása,
- a szerkesztő programmal az általunk kívánt hardver kezelőfelület megteremtése,
- a kapcsolódás szerkesztő programmal a hajtás általunk kívánt működéséhez szükséges hatásvázlat szerinti kapcsolódások megteremtése, a motor és a szabályozóparaméterek beállítása,
- mérő és vizsgáló eszközök kiválasztása, mérések elvégzése.

A berendezéssel végzett mérések két szempontból voltak fontosak.

- Ennek a berendezésnek a működtetése nagyon eltér a hagyományostól, kizárólag számítógépen keresztül kezelhető, a gyártó által felkínált program segítségével. Minden művelet, minden üzemmód kiválasztás, szabályozó paraméterállítás a program által felkínált módon történhet, némelyik paraméter működés közben is állítható. A működtetés nagy szakértelmet kíván. A mérés egyik célja az volt, hogy nagy bonyolultságú hajtásrendszer sokoldalúságát érzékeltessük, és ebben gyakorlatot lehessen szerezni.
- A mérés másik célja a hálózatkímélő üzem vizsgálata mind motoros, mind visszatápláló üzemben. A hálózat kímélés abban nyilvánul meg, hogy motoros üzemben a hálózatoldali inverter olyan szinuszos áram alapjellel működik, amely a hálózati feszültséggel fázisban van (mindhárom fázisra nézve). A hálózatoldali inverter áram alapjele generátoros üzemben ugyancsak szinuszos, de a hálózati feszültséghez képest ellenfázisú, a visszatáplált teljesítménynek megfelelően. A mérések azt mutatták, hogy a szabályozott hálózati áram mind motoros mind generátoros üzemben jól követi a szinuszos alapjelet, de némi lengés észlelhető.

Jól megfigyelhető az aszinkronmotor mezőorientált szabályozásának hatása is. Álló állapotban látható ahogy felépül a rotor fluxus, mérhető a hozzátartozó mágnesező áram. A hajtás álló állapotban is képes a nyomaték kifejtésére. A tengelyen kifejtett nyomaték hatására látszik, ahogy elindul az áramszabályozás és az álló állapot tartásához hogyan alakul ki a szükséges ellennyomaték.

A generátoros hálózatkímélő üzem nagyon hasonlít egy olyan szélgenerátoros és hálózatra dolgozó erőműhöz, amelyiknél a szélkerekre csatlakozó generátort a berendezés inverteres aszinkron motorja képezi le, a motoroldali inverter közbenső egyenáramú körre csatlakozik, és az egyenkör a hálózatoldali inverterrel kapcsolódik az 50Hz-es hálózathoz. A

berendezéssel a szélgenerátoros üzemet akkor lehet vizsgálni, ha az aszinkronmotort más energiaforrásról (a szél helyett) megforgatjuk.

A berendezés üzembe helyezése Önállólabor feladat volt, és a tapasztalatok összegzésére diplomaterv formájában került sor. Hálózatkímélő villamos hajtás címmel eddig két félévben hallgatói mérésenként szerepelt a Szabályozott villamos hajtások tárgyhoz kapcsolódó mérések között. Két Önállólaboros hallgató feladata volt a szélgenerátorok hálózatkímélő szabályozásának a vizsgálata, valamint a diplomatervükhöz csatlakozóan a szélgenerátor modellezés kísérleteinek elvégzése.

4. A FREKVENCIAVÁLTÓK IMPULZUS-SZÉLESSÉG MODULÁCIÓS ELJÁRÁSOK ELMÉLETI ÉS GYAKORLATI VIZSGÁLATA

A projekt keretében behatóan foglalkoztunk az impulzusszélesség moduláció elméleti kérdéseinek vizsgálatával, az eredményeket több publikáció tartalmazza.

A kétszintű inverterek esetében a térvektoros modulációra megadtuk az inverter kimenő feszültségének frekvencia spektrumát (a harmónikusok rendszámát és amplitúdóit). Jelentős figyelmet szenteltünk az inverter kapcsolási és a motor harmonikus veszteségeinek meghatározására és azok összehasonlítására különböző ISZM (két- és háromfázisú vivőfrekvenciás, ill. áram hiszterézises és adaptív két pont szabályozású) módszerekre. Ennek alapján a kimenő feszültség függvényében ajánlatot adtunk az egyes ISZM módszerek alkalmazására.

Számottevő eredményeket értünk el a nagyobb teljesítményen és nagyobb feszültségen használatos több szintű inverterek vizsgálatában. Háromszintű inverterekre levezettük és megadtuk az általános veszteségi tényező alakulását a különböző vezérlési tartományokban és különböző ISZM módszerekre. Ezekre minden esetben levezettük az inverter feszültség spektrumának alakulását és megadtuk a feszültség harmonikusainak értékét a modulációs tényező ill. modulációs frekvencia függvényében. Levezettük az optimális alapjel függvényeket, amelyeket komparáljuk a két háromszög alakú vivőfrekvenciás jelekkel. Így valósítjuk meg a vivőfrekvenciás ISZM-et

5 ÁRAMGENERÁTOROS HÁLÓZATBARÁT TÁPLÁLÁSÚ FREKVENCIAVÁLTÓK VIZSGÁLATA

Az áramgenerátoros táplálás legfontosabb előnyei a feszültséggenerátoros táplálással szemben:

- kisebb du/dt feszültségmeredekség a bemeneti szűrőkondenzátor miatt,
- összegyűjtés esetén a zárlati áram korlátozott az egyenköri fojtó hatására,
- a visszatáplálás egyszerű, mivel egy készletű tirisztoros áramirányítóval is lehetséges,
- egyes esetekben a költségek kisebbek lehetnek.

A hátrányos tulajdonságok a nagyobb vezetési veszteségekben és a bonyolultabb vezérlésben jelölhetők meg.

Áramgenerátoros tápláláskor a félvezetőknek kétirányú feszültséget kell elviselniük (tehát ún. szimmetrikus félvezető kell). Ezért újra kell értékelni a szóba jöhető eszközöket.

- Kis és közepes teljesítmények esetén (elsősorban 600V és 3000V közötti feszültségek esetén) IGBT-t alkalmaznak soros diódával (a gyártott IGBT-k aszimmetrikusak).
- Nagy teljesítményen eddig elsősorban a GTO-k jöhetnek szóba (max. 8kA, 10 kV tartományban), amelyek készülhetnek szimmetrikus vagy aszimmetrikus kivitelben. Ezeknek a félvezetőknek rosszak a dinamikus tulajdonságaik, kell hozzájuk di/dt és du/dt védelem is, és nagyáramú meghajtókört igényelnek.

- Az IGBT sokkal jobb kikapcsolási tulajdonságokkal rendelkezik, ezért gyenge du/dt védelem is megfelel. A nagy di/dt elleni védelemre ez esetben is szükség van. A viszonylag nagy meghajtókori teljesítmény korlátozza a nagyfrekvenciás alkalmazást.
- Új elem az emitter kikapcsolású tiriszor (ETO), amely a jövőben különösen nagy teljesítményeken ígér olcsó megoldást, kis vezetési veszteséggel és nagy kapcsolási sebességgel. Az eddig legyártott elemek határadatai: 4kA és 6kV.

Az említett előnyök miatt az áramgenerátoros táplálás a feszültséggenerátoros táplálással szemben elsősorban a nagy teljesítményeken versenyképes. Az eddigi kutatásaink szerint előnyösen alkalmazható a következő gyakorlati esetekben:

- rugalmas váltakozóáramú átviteli rendszer (FACTS),
- Energiatároló rendszerek (szupravezetős energiatárolás),
- nagyáramú, nagyfeszültségű, alacsony felharmonikus tartalmú, jó dinamikájú villamos hajtások frekvenciaváltói.

A legnagyobb teljesítményeken a félvezetők soros/ párhuzamos kapcsolása helyett a többszintű áramgenerátoros táplálású ISZM egyenirányítókat javasolják, amelynek eddig két alaptípusa alakult ki. Az itt megoldandó speciális problémák: a felharmonikus tartalom csökkentése és a köráramok megakadályozása.

Mai modern hálózatbarát áramirányítók két eszközzel valósítják meg a közel szinuszos hálózati áramot:

- Az áramirányító oltható félvezetőelemeit valamely optimális impulzusszélesség modulációs elv (pl. térvektoros módszer) szerint vezérlik,
- Az áramirányító és a hálózat közé aluláteresztő szűrő áramkört iktatnak be.

Az aluláteresztő szűrő méretezésére ismeretesebb optimális eljárások, amelyek biztosítják, hogy az áramirányítót és a szűrő elemeit a lehetséges legkisebb típusjellegűre kelljen méretezni. Az ideális L-C elemekből felépített szűrő viszont rontja az áramirányító egység dinamikáját, és lengésekre hajlamossá teszi. Ellenállások beiktatásával lényegesen javíthatók ezek a hátrányok, sajnos a veszteségek növekedésének árán. A tranziens egyenletek figyelembevételével, tisztán szabályozástechnikai úton is lehetséges a lengések csillapítása, ill. a dinamika javítása. A módszer a hálózati áram vektor két derékszögű összetevőjét használja fel az áramirányító áram alapjelének szükséges módosításához.

A projektre hivatkozással összesen 26 publikáció jelent meg, ebből csak a projekthez kapcsolódókat tüntettünk fel a zárójelentésben, ill. megadtuk azokat a publikációkat is, amelyek az előző pályázat kötődő, a neural-fuzzy szabályozás vizsgálatával foglalkoztak. Ebből a témából egy hallgató 2006-ban szerezte meg a PhD fokozatot.

További három publikáció a BME erőáramú villamosmérnöki oktatás fejlesztésével, a kétfokozatú oktatás bevezetésével foglalkozik. Egy publikációt szenteltük Kovács-Rácz „Transient Performances of AC Machines” nagy horderejű könyv kiadásának 50-ik évfordulójának.